

Е. В. Мироненко, д-р техн. наук,  
В. В. Калиниченко, канд. техн. наук, Краматорск, Украина

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА,  
ПОДВЕРГНУТОГО УПРОЧНЯЮЩЕМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ  
ВОЗДЕЙСТВИЮ**

*В статье представлены основные положения теоретической модели процесса изнашивания режущего инструмента, подвергнутого упрочняющему энергетическому воздействию. Положения модели подтверждаются результатами экспериментальных исследований влияния упрочняющей обработки импульсным магнитным полем на интенсивность изнашивания резцов с режущими пластинами из твердого сплава TH20.*

*В статті представлені основні положення теоретичної моделі процесу зношування різального інструменту, підданого зміцнюючому енергетичному впливу. Положення моделі підтверджуються результатами експериментальних досліджень впливу зміцнюючої обробки імпульсним магнітним полем на інтенсивність зношування різців з різальними пластинами з твердого сплаву TH20.*

*E. V. MIRONENKO, V. V. KALINICHENKO  
HIGHLIGHTS OF THE THEORETICAL MODELS OF CUTTING TOOL WEAR SUBJECTED  
STRENGTHENING ENERGY IMPACT*

*Substantive provisions of theoretical model of the cutting tool wear process subjected to strengthening power influence are presented in the article. Positions model prove the results of experimental researches of influence of strengthening processing by a pulse magnetic field on the intensity of wear process of cutters with cutting plates of hard alloy TH20.*

**Постановка проблемы**

Одним из основных направлений повышения работоспособности режущего инструмента является применение технологий упрочнения и нанесения износостойких покрытий, предусматривающих направленное изменение физико-механических свойств поверхности и поверхностного слоя инструмента, испытывающих наиболее интенсивное термомеханическое воздействие при резании. Комплексное исследование процесса резания упрочненным инструментом предопределяет актуальность разработки теоретических моделей основных физических процессов при резании, в первую очередь процесса изнашивания инструмента.

**Анализ исследований и публикаций по рассматриваемой проблеме**

Наиболее перспективным является применение методов упрочнения и нанесения износостойких покрытий для повышения работоспособности режущего инструмента, работающего в условиях чистовой и получистовой обработки, при которых доминирующим видом отказа инструмента является износ. Характеристики работоспособности инструмента в этом случае опре-

деляются интенсивностью изнашивания его рабочих поверхностей. Интенсивность изнашивания рабочих поверхностей упрочненного инструмента определяется как режимами резания, так и комплексом свойств тонкого поверхностного слоя инструмента, формируемых при упрочняющем энергетическом воздействии (УЭВ) и зависящих от технологических режимов упрочнения (режимов УЭВ).

Для адекватного описания процесса резания (ПР) упрочненным инструментом необходимо в рамках одной модели рассмотреть всю технологическую последовательность от формирования комплекса свойств рабочих поверхностей инструмента при УЭВ до потери инструментом работоспособности в результате изнашивания. Теоретические подходы к решению такой задачи представлены в работе [1]. В русле термодинамического подхода [1] упрочнение инструмента представляют как взаимодействие исходной структуры инструментального материала (ИМ) с УЭВ. В результате воздействия на исходную структуру ИМ комплекса активационных и диссипативных процессов формируется уровень упрочненно-устойчивого состояния материала поверхностного слоя инструмента. Изнашивание инструмента при этом рассматривается как термодинамический процесс, интенсивность которого зависит от внутренней энергии контактного объема ИМ. Значение внутренней энергии может быть повышено в результате УЭВ (как предварительного, так и возникающего непосредственно в процессе резания). Основным преимуществом такого подхода к описанию процесса изнашивания является универсальность, позволяющая выразить через энергетические характеристики ПР явления любой физической природы.

Результаты исследований влияния режимов резания и УЭВ на характеристики интенсивности изнашивания упрочненного режущего инструмента представлены в работах различных авторов, посвященных конкретным технологическим методам упрочнения инструмента. Например, для точения сталей твердосплавными резцами, подвергнутыми обработке импульсным магнитным полем (ОИМП), результаты исследования влияния режимов ОИМП и резания на интенсивность изнашивания инструмента приведены в предыдущих работах авторов статьи [2–4].

#### *Обзор нерешенных частей проблемы*

Для разработки теоретической модели процесса изнашивания при резании упрочненным инструментом необходимо установить систему связей между факторами, непосредственно определяющими интенсивность изнашивания инструмента при конкретном его физическом механизме, с одной стороны, и интенсивность потоков энергии, поступающей в инструмент при предварительном УЭВ и резании, с другой стороны.

*Цель статьи* – на основании установления системы связей факторов, определяющих интенсивность изнашивания инструмента и интенсивность потоков энергии, поступающей в инструмент при предварительном УЭВ и

резании, сформулировать основные положения теоретической модели процесса изнашивания режущего инструмента, подвергнутого УЭВ, при чистовой и получистовой обработке. Процесс изнашивания инструмента рассматривается в статье на примере изнашивания резцов с твердосплавными режущими пластинами, упрочненными технологическим методом ОИМП.

#### *Основная часть*

При постоянстве прочих входных параметров ПР правильный выбор режимов УЭВ и резания является условием эффективного снижения интенсивности изнашивания инструмента в результате упрочнения.

Зависимости наиболее показательных характеристик интенсивности изнашивания инструмента (линейной характеристики  $I_h$  изнашивания и относительного поверхностного износа  $h_{онз}$  по задней поверхности) от режимов резания определяются особенностями физического механизма изнашивания. В соответствии с данными работ [5–7], при значениях скоростей  $V$  и температур  $\Theta$  резания, меньших, чем оптимальные значения  $V_o$  и  $\Theta_o$ , изнашивание инструмента обусловлено адгезионным взаимодействием ИМ и обрабатываемого материала (ОМ), при  $V > V_o$  ( $\Theta > \Theta_o$ ) – термоактивируемыми диффузионными процессами (температура  $\Theta_o$  в данном случае соответствует характерной температуре  $\Theta_{хар}$  в соответствии с терминологией работы [5]).

Величина  $I_h$  зависит от отношения прочности  $\tau_{nm}$  на срез адгезионных связей при наличии пластических деформаций на контакте и микротвердости

$H_\mu$  поверхностного слоя ИМ по формуле:  $I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_{nm}}{H_\mu} \right)^{B_1}$  [6], в которой

$A_1 > 0$  и  $B_1 > 1$  – коэффициент и показатель степени, зависящие от марки ИМ и вида обработки. Величина  $\tau_{nm}$  во всем диапазоне  $V$  определяется как  $\tau_{nm} = \tau_0 + \beta \cdot q_N'$ , где  $\tau_0$  – прочность на срез адгезионных связей при отсутствии нормальных напряжений на контакте,  $\beta$  – коэффициент упрочнения адгезионных связей,  $q_N'$  – нормальные напряжения на задней поверхности инструмента. Величина слагаемого  $\beta \cdot q_N'$  в формуле для определения  $\tau_{nm}$  будет зависеть от природы взаимодействия ИМ и ОМ в различных диапазонах температуры резания  $\Theta$  и определяться по формулам:  $\beta \cdot q_N' = \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}$  при  $\Theta < \Theta_o$  и  $\beta \cdot q_N' = D \cdot e^{-C \cdot \Theta}$  при  $\Theta > \Theta_o$ , где  $\beta_{хар}$  – значение  $\beta$  при  $\Theta = \Theta_{хар}$ . Зависимости, определяющие  $I_h$  и  $h_{онз}$  при резании в различных диапазонах значений  $V$ , систематизированы

в таблице 1, в которой  $A \gg 1$ ;  $B \gg 0$ ;  $A_r \gg 1$ ;  $a_r \gg 0$ ;  $D = A \cdot A_r$ ,  $C = B \cdot a_r$  – коэффициент и показатель степени, характеризующие интенсивность термоактивируемых процессов при диффузионном изнашивании, снижающих  $\tau_{nn}$ , и зависящие от контактирующих ОМ и ИМ;  $A_{H_\mu}$ ,  $a_{H_\mu}$  – коэффициент и показатель степени, зависящие от фазового состава ИМ;  $H_\mu$  – значение  $H_\mu$  в исходном состоянии (до УЭВ);  $K_{H_\mu}$  – коэффициент повышения  $H_\mu$  после УЭВ.

Снижение величин  $I_h$  и  $h_{онз}$  при  $A_1 \gg 0$  и  $B_1 \gg 1$  возможно за счет снижения  $\tau_{nn}$  и повышения  $H_\mu$ . Повышение  $H_\mu$  может быть достигнуто за счет предварительного УЭВ при упрочнении. Входные параметры ПР оказывают влияние на величины  $I_h$  и  $h_{онз}$  через изменение температуры резания  $\Theta$ . Возрастание  $\Theta$  вызывает снижение как  $\tau_{nn}$ , так и  $H_\mu$  в соответствии с зависимостями таблицы 1.

Для определения связей интенсивности изнашивания инструмента с величиной энергетических потоков при резании выделим влияние энергетических потоков, вызывающих повышение  $H_\mu$  на этапе упрочнения и снижение  $\tau_{nn}$  и  $H_\mu$  на этапе резания упрочненным инструментом.

Баланс энергетических потоков в зоне резания, согласно работе [1], описывается следующими уравнениями:

$$W = P + Q; \quad (1)$$

$$P = U + A; \quad (2)$$

$$U_2 = U_1 + U, \quad (3)$$

где  $W$  – суммарная величина энергии, поступающей в инструмент от всех энергетических источников;  $Q$ ,  $P$  – тепловая и нетепловая составляющие энергии;  $U$  – величина внутренней энергии, насыщающей контактный объем ИМ при резании;  $A$  – затраты энергии на работу диспергирования ИМ;  $U_1$  – внутренняя энергия контактного объема ИМ до взаимодействия;  $U_2$  – внутренняя энергия контактного объема ИМ к моменту диспергирования.

Связь интенсивности  $\frac{dM}{dt}$  убыли массы инструмента при его изнашивании с энергетическими показателями ПР определяется полученными из общей логики уравнений (1–3) зависимостями [1]:  $\frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt}(P - U)$  (для общего

случая) и  $\frac{dM}{dt} = \frac{\frac{dP}{dt}}{\frac{\partial U_2}{\partial M}}$  (для стадии нормального изнашивания), где  $M$  – сум-

марная масса частиц износа;  $\frac{\partial A}{\partial M}$  – удельное значение работы диспергирования ИМ, затраченной на износ единицы его массы;  $\frac{\partial U_2}{\partial M} = \frac{\partial U_1}{\partial M} + \frac{\partial U}{\partial M}$  – удельное содержание внутренней энергии контактного объема ИМ к моменту диспергирования.

Таблица 1 – Зависимости, определяющие интенсивность изнашивания инструмента при  $V \langle V_o$  и  $V \rangle V_o$  [4, 5, 7]

Скорость резания	$V \langle V_o$	$V \rangle V_o$
Температура резания	$\Theta \langle \Theta_{хар}$	$\Theta \rangle \Theta_{хар}$
Коэффициент упрочнения адгезионных связей	$\beta = \beta_{хар} = const$	$\beta = A \cdot e^{-B \cdot \Theta}$
Прочность на срез адгезионных связей при наличии пластических деформаций на контакте	$\tau_{nn} = \tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}$	$\tau_{nn} = \tau_0 + D \cdot e^{-C \cdot \Theta}$
Микротвердость поверхностного слоя твердого сплава	$H_\mu = H_{\mu_0} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}$	
Линейная характеристика изнашивания	$I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$	$I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + D \cdot e^{-C \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$
Микротвердость поверхностного слоя твердого сплава после упрочняющего воздействия	$H_\mu = H_{\mu_0} \cdot K_{H_\mu} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}$	
Линейная характеристика изнашивания после упрочняющего воздействия	$I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot K_{H_\mu} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$	$I_h = A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + D \cdot e^{-C \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot K_{H_\mu} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$
Относительный поверхностный износ реза по задней поверхности	$h_{онз} = \frac{10^8}{S} \cdot A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$	$h_{онз} = \frac{10^8}{S} \cdot A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + D \cdot e^{-C \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$
Относительный поверхностный износ реза по задней поверхности после упрочняющего воздействия	$h_{онз} = \frac{10^8}{S} \cdot A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + \beta_{хар} \cdot A_r \cdot e^{-a_r \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot K_{H_\mu} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$	$h_{онз} = \frac{10^8}{S} \cdot A_1 \cdot \left( \frac{\tau_0 + D \cdot e^{-C \cdot \Theta}}{H_{\mu_0} \cdot K_{H_\mu} \cdot e^{-a_{H_\mu} \cdot \Theta}} \right)^{B_1}$

Для снижения интенсивности изнашивания инструмента на этапе нормального изнашивания (для которого и определяются показатели  $I_h$  и  $h_{онз}$ ),

необходимо обеспечить снижение  $\frac{dP}{dt}$  и повышение  $\frac{\partial U_2}{\partial M}$ . При этом поло-

жительная корреляция между  $\frac{dM}{dt}$  и характеристиками  $I_h$  и  $h_{онз}$  следует из физического смысла процесса изнашивания.

В соответствии с уравнением (1)  $\frac{d\Pi}{dt} = \frac{d(W-Q)}{dt}$ . Снижение  $\frac{d\Pi}{dt}$  может достигаться за счет роста тепловой составляющей энергии  $Q$ , что при прочих равных условиях процесса резания вызывает повышение  $\Theta$ .

Для инструментального материала, подвергнутого УЭВ,  $\frac{\partial U_2}{\partial M} = \frac{G \cdot b^2 \cdot \rho \cdot (1 - \nu \cdot \cos^2 \alpha)}{4 \cdot \pi \cdot (1 - \nu) \cdot q} \cdot \ln \left( \frac{1}{b \cdot \sqrt{\rho}} \right)$  [1], где  $G$  – модуль упругости;  $b$  – параметр кристаллической решетки;  $\rho$  – плотность линейных дислокаций;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\alpha$  – угол между вектором Бюргерса и осью дислокации;  $q$  – плотность материала.

Из анализа зависимостей таблицы 1 следует, что снижение  $\tau_{nn}$  происходит вследствие повышения  $\Theta$  при постоянных  $\beta$  и  $\tau_0$ . Следовательно, снижение  $\frac{d\Pi}{dt}$  обуславливает снижение  $\tau_{nn}$ .

Повышение  $H_\mu$  после предварительного УЭВ происходит вследствие воздействия на дефектную структуру ИМ, сопровождающегося повышением плотности дислокаций. При этом вследствие изменения  $\frac{\partial U_2}{\partial M}$  формируется резерв повышенной микротвердости ИМ  $\Delta H_{\mu_{упр}} = H_{\mu_{упр}} - H_{\mu_0}$ , где  $H_{\mu_{упр}}$  – значение  $H_\mu$  после предварительного УЭВ.

Предварительное УЭВ повышает  $U_1$  на величину  $\Delta U_{упр}$  и уравнение (3) приобретает вид:  $U_2 = U_1 + \Delta U_{упр} + U$  (насыщение контактного объема ИМ внутренней энергией на величину  $U$  происходит при приработке до стадии нормального изнашивания). Повышение  $\Delta U_{упр}$  вследствие предварительного УЭВ высокой интенсивности при постоянных условиях резания может обусловить возрастание величины  $U_2$  выше критического значения  $U_{кр}$  и, как следствие, интенсификацию изнашивания переупрочненного ИМ вследствие активационных процессов развития пор и микротрещин, зародыши которых формируются еще на этапе предварительного УЭВ.

При резании резерв  $\Delta H_{\mu_{упр}}$  уменьшается на величину  $\Delta H_{\mu_Q}$ , что обусловлено ростом  $\Theta$  за счет тепловой составляющей энергии  $Q$ . Осо-

бенно значительно уменьшение  $\Delta H_{\mu_{упр}}$  при высоких значениях  $V$ , что объясняется интенсивным тепловыделением при резании. Для сохранения резерва микротвердости необходимо, чтобы  $\Delta H_{\mu_{упр}} - \Delta H_{\mu_Q} > 0$ .

Результаты анализа энергетических процессов при резании представлены в схеме влияния режимов УЭВ и резания на интенсивность изнашивания инструмента (рисунок 1). В основе теоретической модели процесса изнашивания упрочненного инструмента при резании должны лежать три принципа снижения интенсивности изнашивания инструмента:

**Принцип 1.** Режимы УЭВ должны обеспечивать повышение плотности дислокаций в ИМ без интенсивного развития зародышей пор и микротрещин в материале, вызывающего снижение  $H_\mu$  и повышение интенсивности изнашивания инструмента (неравенство  $\Delta U_{упр} \langle U_{кр} - U_1 - U \rangle$ );

**Принцип 2.** Соотношение характеристик энергетических потоков  $\Delta U_{упр}$  и  $Q$  должно обеспечивать сохранение резерва повышенной микротвердости поверхностного слоя твердого сплава при реальной температуре резания (неравенство  $\Delta H_{\mu_{упр}} > \Delta H_{\mu_Q}$ );

**Принцип 3.** В диапазоне скоростей резания  $V \leq V_o$ , соответствующем нормативным и оптимальным (с точки зрения минимума  $h_{онз}$ ) режимам точения и адгезионному механизму изнашивания,  $Q$  и  $\Theta$  должны оказывать более интенсивное снижающее влияние на  $\tau_{nn}$ , чем на  $H_\mu$  (неравенство  $a_r > a_{H_\mu}$ ).

Положения модели подтверждаются результатами экспериментов при точении сталей 45, У8А, ХВГ резцами с режущими пластинами из твердого сплава ТН-20, подвергнутыми ОИМП. Точение производилось на токарно-винторезном станке модели 1К625Сп резцами по ТУ 2-035-892-82 с режущими пластинами формы 02114–080610 (ГОСТ 19048-80). Геометрия резцов:  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\phi = 90^\circ$ ,  $\phi' = 10^\circ$ . Средняя исходная микротвердость поверхностного слоя пластин в партии:  $\overline{H_{\mu_0}} = 1400$  МПа. Диапазон исследуемых режимов резания: скорость резания  $V = 100\text{--}300$  м/мин, подача  $S = 0,2\text{--}0,4$  мм/об, глубина резания  $t = 1\text{--}2,5$  мм. Режимы ОИМП режущих пластин: напряженность поля  $H = 0,2 \cdot 10^5\text{--}1,8 \cdot 10^5$  А/м, продолжительность обработки  $t = 2$  мин, время выдержки после ОИМП  $t_g = 28$  час, частота импульсов  $f = 5$  Гц.

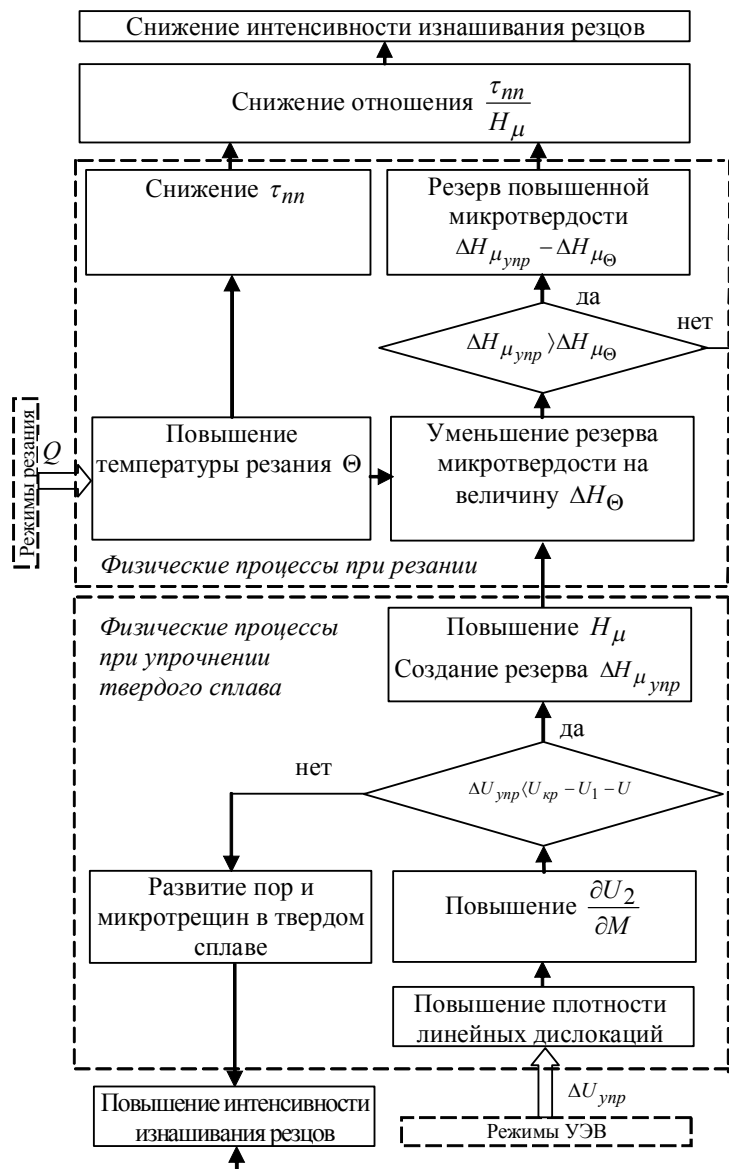


Рисунок 1 – Схема влияния режимов УЭВ и резания на интенсивность изнашивания упрочненного инструмента

Данные значения  $t$ ,  $t_g$  и  $f$  обеспечивают максимум  $K_{H_\mu}$ . Микротвердость поверхностного слоя измерялась на приборе ПМТ-3. Плотность  $\rho$  ли-

нейных дислокаций в фазах твердого сплава определялась по истинной (физической) ширине линий (111)  $Ni$  и  $TiC$  на дифрактометре рентгенометрическом ДРОН-4-07. Величина  $h_{онз}$  определялась по методике работы [8]. Результаты экспериментов по определению  $H_\mu$  и  $h_{онз}$  подвергались статистической обработке с расчетом доверительного интервала с вероятностью  $P = 0,9$ .

Результаты экспериментов, частично представленные в таблицах 2–5, свидетельствуют о снижении  $h_{онз}$  в результате ОИМП режущих пластин, отмечаемом при точении всех рассматриваемых сталей во всем исследуемом диапазоне режимов резания и при всех значениях напряженности магнитного поля (кроме максимального значения  $H = 1,8 \cdot 10^5$  А/м). Снижение интенсивности изнашивания инструмента происходит за счет повышения  $H_\mu$ , обусловленного повышением плотности  $\rho$  линейных дислокаций в связующей и карбидной фазах в результате деформационного воздействия магнотриксционной природы. Более высокие значения коэффициента  $K_{h_{онз}}$  снижения относительного поверхностного износа резцов по задней поверхности и коэффициента  $K_{H_\mu}$  повышения микротвердости поверхностного слоя твердого сплава, согласно данным таблицы 2, соответствуют режимам ОИМП, обеспечивающим большее повышение  $\rho$  и, соответственно, величины  $\frac{\partial U_2}{\partial M}$ . Наибольшее повышение  $\rho$  и максимумы  $K_{h_{онз}}$  и  $K_{H_\mu}$  отмечаются при  $H = 1,1 \cdot 10^5$  А/м. При повышении  $H$  выше указанного значения,  $K_{H_\mu}$  (как и величина повышения  $\rho$ ), снижается,

Таблица 2 – Повышение плотности линейных дислокаций и микротвердости поверхностного слоя для пластин из твердого сплава ТН20 в результате ОИМП

Напряженность $H$ поля, А/м	Повышение плотности $\rho$ линейных дислокаций, раз		$K_{H_\mu}$
	в связующей фазе	в карбидной фазе	
$0,4 \cdot 10^5$	1,41	1,23	1,2
$0,8 \cdot 10^5$	1,45	1,28	1,22
$1,1 \cdot 10^5$	1,57	1,37	1,31
$1,4 \cdot 10^5$	1,39	1,25	1,2
$1,8 \cdot 10^5$	1,04	1,01	1,01

и при  $H = 1,8 \cdot 10^5$  А/м значения  $\rho$  и  $H_\mu$  практически не изменяются, а  $h_{онз}$  либо практически не изменяется, либо повышается. В этом случае высокоинтенсивное УЭВ величиной  $\Delta U_{унр}$  вызывает рост плотности пор и микротре-

щин, нивелирующий повышение  $\rho$  и приводящий к отсутствию повышения  $H_\mu$  и снижения  $h_{опз}$ , что соответствует приведенному выше принципу 1 снижения интенсивности изнашивания инструмента.

Снижение  $h_{опз}$  после ОИМП наблюдается при различных значениях  $V$  и  $S$  (таблица 3). В данном случае предварительное УЭВ обеспечивает существенное превосходство  $\Delta H_{\mu_{зп}}$  над  $\Delta H_{\mu_{о}}$  во всем диапазоне режимов резания, что соответствует приведенному выше принципу 2 снижения интенсивности изнашивания инструмента.

Таблица 3 – Значения  $K_{H_\mu}$  и  $K_{h_{опз}}$  для резцов с режущими пластинами

из твердого сплава ТН20, подвергнутыми ОИМП с различной напряженностью поля

Напряженность $H$ поля, А/м	$K_{H_\mu}$	$K_{h_{опз}}$
Точение стали 45, $V = 160$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $t = 1$ мм		
$0,4 \cdot 10^5$	1,2	1,26
$0,8 \cdot 10^5$	1,22	1,39
$1,1 \cdot 10^5$	1,31	1,7
$1,4 \cdot 10^5$	1,2	1,27
$1,8 \cdot 10^5$	1,01	0,85
Точение стали У8А, $V = 155$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $t = 1$ мм		
$0,4 \cdot 10^5$	1,2	1,29
$0,8 \cdot 10^5$	1,22	1,43
$1,1 \cdot 10^5$	1,31	1,91
$1,4 \cdot 10^5$	1,2	1,31
$1,8 \cdot 10^5$	1,01	1,01
Точение стали ХВГ, $V = 145$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $t = 1$ мм		
$0,4 \cdot 10^5$	1,2	1,29
$0,8 \cdot 10^5$	1,22	1,47
$1,1 \cdot 10^5$	1,31	2,19
$1,4 \cdot 10^5$	1,2	1,32
$1,8 \cdot 10^5$	1,01	0,93

Максимум  $K_{h_{опз}}$  обеспечивается при оптимальных скоростях  $V_o$  резания для упрочненного инструмента (таблица 4); значения  $V_o$  для точения всех рассматриваемых сталей приведены в таблице 5. С ростом  $V$  в диапазоне  $V \leq V_o$  значение  $K_{h_{опз}}$  увеличивается до максимума при  $V_o$ , по достижении которого снижается. Это свидетельствует о более интенсивном снижающем влиянии  $\Theta$  на  $\tau_{ин}$ , чем на  $H_\mu$ , что соответствует приведенному выше принципу 3 снижения интенсивности изнашивания инструмента.

Таблица 4 – Показатели снижения  $h_{опз}$  для режущих пластин из твердого сплава ТН20 в результате ОИМП с режимами, обеспечивающими наибольшее значение  $K_{H_\mu}$

Марка стали	$S$ , мм/об	$V_o$ , м/мин	$K_{h_{опз}}$
1	2	3	4
Сталь 45	0,2	120	1,72
		160	1,7
		190	1,97
		230	2,84
	0,4	120	1,39
		160	2,35
		190	1,97
Сталь У8А	0,2	230	1,49
		120	1,89
		155	1,91
		180	2,27
Сталь У8А	0,4	220	2,88
		120	1,25
		155	2,08
		180	1,93
Сталь ХВГ	0,2	220	1,67
		110	1,78
		125	1,96
		145	2,19
	0,4	165	2,31
		110	1,92
		125	2,29
		145	1,98
		165	1,80

Таблица 5 – Значения оптимальных скоростей резания  $V_o$  при точении сталей резцами с пластинами из твердого сплава ТН20, подвергнутыми ОИМП

Марка стали	Сталь 45		Сталь У8А		Сталь ХВГ	
Подача, мм/об	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4
$V_o$ , м/мин	230	160	220	155	165	125

# Выводы

В работе сформулированы основные принципы снижения интенсивности изнашивания режущего инструмента, подвергнутого упрочнению. Эти принципы являются ключевыми для разработки теоретической модели процесса изнашивания режущего инструмента, подвергнутого упрочняющему энергетическому воздействию. Положения модели подтверждаются анализом результатов экспериментальных исследований влияния обработки им-

пульсным магнитным полем на интенсивность изнашивания резцов с режущими пластинами из твердого сплава ТН20.

**Список использованных источников:** 1. Якубов, Ф. Я. Энергетические соотношения процесса механической обработки материалов / Ф. Я. Якубов – Ташкент: «Фан», 1985. – 104 с. 2. Калиниченко, В. В. Влияние обработки импульсным магнитным полем на стойкость инструмента и технологические характеристики деталей при чистовом точении стали ХВГ резцами с режущими пластинами из БВТС / В. В. Калиниченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ–Київ, вип. № 20, 2006. – С. 176–183. 3. Калиниченко, В. В. Уравнения оптимальной интенсивности изнашивания резцов с режущими пластинами из БВТС, подвергнутыми обработке импульсным магнитным полем / В. В. Калиниченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ–Київ, вип. № 22, 2007. – С. 142–147. 4. МIRONENKO E. V. Обоснование направлений снижения интенсивности изнашивания твердосплавного инструмента при чистовом точении сталей на основе термодинамического похода / E. V. МIRONENKO, В. В. Калиниченко // Сучасні технології в машинобудуванні: До ювілею Ф. Я. Якубова: 36 наук. статей / Укладач А. І. Грабченко ; заг. ред. А. І. Грабченко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – С. 134–145. 5. Шустер, Л. Ш. Адгезионное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом. – М. : Машиностроение, 1988. – 96 с. – ISBN 5-217-00055-4. 6. Зиновьев, Н. И. Влияние ОИМП на микротвердость поверхностного слоя и износ режущего инструмента из БВТС / Н. И. Зиновьев, В. В. Калиниченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Збірник наукових праць. Вип. 10. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – Вип. 10. – С. 117–122. 7. Калиниченко, В. В. Снижение интенсивности изнашивания резцов с режущими пластинами из безвольфрамовых твердых сплавов с помощью обработки импульсным магнитным полем / В. В. Калиниченко // Вісник двигунобудування: научно-технічний журнал. – Запоріжжє, ОАО «Мотор Сич». – № 1(8), 2005. – С. 128–132. 8. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.

*Поступила в редколлегию 19.01. 2011 г.*

**Bibliography (transliterated):** 1. Jakubov, F. Ja. Jenergeticheskie sootnoshenija processa mehanicheskoj obrabotki materialov / F. Ja. Jakubov – Tashkent: «Fan», 1985. – 104 s. 2. Kalinichenko, V. V. Vlijanie obrabotki impul'snym magnitnym polem na stojkost' instrumenta i tehnologicheskie harakteristiki detalej pri chistovom tochenii stali HVG rezcami s rezhuwimi plastinami iz BVTS / V. V. Kalinichenko // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem. Zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k–Kiïv, vip. № 20, 2006. – S. 176–183. 3. Kalinichenko, V. V. Uravnenija optimal'noj intensivnosti iznashivania rezcov s rezhuwimi plastinami iz BVTS, podvergnutymi obrabotke impul'snym magnitnym polem / V. V. Kalinichenko // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem. Zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k–Kiïv, vip. № 22, 2007. – S. 142–147. 4. Mironenko E. V. Obosnovanie napravlenij snizhenija intensivnosti iznashivania tverdosplavnogo instrumenta pri chistovom tochenii stalej na osnove termodinamicheskogo pohoda / E. V. Mironenko, V. V. Kalinichenko // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Do juvileju F. Ja. Jakubova: Zb. nauk. statej / Ukladach A. I. Grabchenko ; zag. red. A. I. Grabchenko. – Harkiv : NTU «HPI», 2007. – S. 134–145. 5. Shuster, L. Sh. Adgezionnoe vzaimodejstvie rezhuwego instrumenta s obrabatyvaemym materialom. – M. : Mashinostroenie, 1988. – 96 s. – ISBN 5-217-00055-4. 6. Zinov'ev, N. I. Vlijanie OIMP na mikrotverdst' poverhnostnogo sloja i iznos rezhuwego instrumenta iz BVTS / N. I. Zinov'ev, V. V. Kalinichenko // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem: Zbirnik naukovih prac'. Vip. 10. – Kramators'k: DDMA, 2000. – Vip. 10. – S. 117–122. 7. Kalinichenko, V. V. Snizhenie intensivnosti iznashivania rezcov s rezhuwimi plastinami iz bezvol'framovyh tverdyh splavov s pomow'ju obrabotki impul'snym magnitnym polem / V. V. Kalinichenko // Visnik dvigunobuduvannja: nauchno-tehnicheskij zhurnal. – Zaporozh'e, ОАО «Motor Sich». – № 1(8), 2005. – S. 128–132. 8. Makarov, A. D. Optimizacija processov rezanija. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 278 s.